



AUTOMAÇÃO INTELIGENTE NO AGRO 5.0: ROADMAP PARA A AUTOMATIZAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR AGROINDUSTRIAL BRASILEIRO

ISABELA MEIRELES – isabela.meireles@unb.br
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB

SIMONE BORGES SIMÃO MONTEIRO – simoneborges@unb.br
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB

ÁREA: *INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*
SUBÁREA: *ESTUDO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO AGRONEGÓCIO*

RESUMO:

A transição para a Agricultura 5.0 (Agro 5.0) é um momento crucial no agronegócio brasileiro, caracterizado pela integração avançada de tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e métodos inovadores de otimização de processos. Este estudo analisa a aplicação dessas tecnologias no contexto do Agro 5.0, com foco na maximização da eficiência produtiva e na sustentabilidade ambiental. O estudo analisa como a IA e a IoT podem ser estrategicamente integradas para revolucionar as práticas no agronegócio, desde a etapa de identificação do processo, gestão dos dados e até a implementação efetiva.

A análise revelou que, apesar de a implementação de inteligência artificial no agronegócio brasileiro apresentar desafios significativos, tais como barreiras tecnológicas, econômicas e de infraestrutura, as oportunidades para aumentar a produtividade e a sustentabilidade são significativas. O estudo apresenta as etapas necessárias para a adoção eficiente dessas tecnologias, salientando a relevância de uma estratégia integrada que envolva todos os processos e fases, para a correta implementação.

Além disso, o artigo realiza um levantamento da literatura, para entender as principais Inteligências Artificiais que estão sendo implementadas no Brasil e no mercado global de agronegócios, sugerindo que o aumento da adoção de tecnologias avançadas não apenas melhora a eficiência das operações do agronegócio, mas também promova uma produção mais responsável e sustentável.

PALAVRAS-CHAVES: *Inteligência Artificial, IoT, Otimização de Processos, Agro 5.0, Transformação Digital no Agronegócio.*

AUTOMAÇÃO INTELIGENTE NO AGRO 5.0: ROADMAP PARA A AUTOMATIZAÇÃO DOS PROCESSOS DO SETOR AGROINDUSTRIAL BRASILEIRO

ABSTRACT:

The transition to Agriculture 5.0 (Agro 5.0) is a pivotal moment in Brazilian agribusiness, characterized by the advanced integration of technologies such as Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), and innovative process optimization methods. This study examines the application of these technologies in the context of Agro 5.0, focusing on maximizing productive efficiency and environmental sustainability. The study analyzes how AI and IoT can be strategically integrated to revolutionize practices in agribusiness, from the process identification stage, data management, to effective implementation.

The analysis revealed that, although the implementation of artificial intelligence in Brazilian agribusiness presents significant challenges, such as technological, economic, and infrastructure barriers, the opportunities to increase productivity and sustainability are significant. The study presents the necessary steps for the efficient adoption of these technologies, emphasizing the relevance of an integrated strategy that involves all processes and phases for correct implementation.

Additionally, the article conducts a survey of the literature to understand the main Artificial Intelligences being implemented in Brazil and the global agribusiness market, suggesting that the increased adoption of advanced technologies not only improves the efficiency of agribusiness operations but also promotes more responsible and sustainable production.

KEYWORDS: Artificial Intelligence, IoT, Process Optimization, Agro 5.0, Digital Transformation in Agribusiness.

1. INTRODUÇÃO

A inteligência artificial tem influenciado diversas áreas, como o agronegócio, com o objetivo de aumentar a eficiência das operações, a produtividade e a redução dos impactos ambientais. A Agricultura 5.0 (Agro 5.0) é um paradigma que combina IA, IoT e automação avançada, permitindo uma agricultura mais sofisticada. Tais tecnologias tornam a gestão de recursos hídricos mais eficiente, aumentando a sustentabilidade e a eficiência das operações agrícolas, como é apontado por Fernandes e Oliveira (2022) e Brini (2023).

A implantação do Agro 5.0 requer uma análise aprofundada das necessidades do setor e uma integração aprofundada das tecnologias nos processos agrícolas existentes. Segundo estudos recentes, apenas uma fração significativa das companhias agrícolas brasileiras atingiu uma maturidade tecnológica avançada, o que indica a necessidade de estratégias de implementação bem elaboradas (Brini, 2023). A gestão de dados é crucial para essa transição, pois a coleta, análise e aplicação de dados são essenciais para a eficiência do Agro 5.0 (Adli et al., 2023).

A integração de tecnologias como sensores IoT, drones e robôs está impulsionando inovações no campo agrícola, conhecidas como AIoT, que prometem otimizar processos desde o plantio até a colheita e a distribuição. Contudo, a utilização dessas tecnologias enfrenta problemas significativos, como a segurança, a análise de dados e a privacidade, além da necessidade de constante adaptação tecnológica (Kubota & Rosa, 2024). São necessários superar esses obstáculos para assegurar uma transição suave para o Agro 5.0.

A análise da literatura sobre o uso de inteligência artificial na agricultura pode revelar informações valiosas de outros países, adaptando essas práticas ao contexto brasileiro. A compreensão das tendências globais e a adaptação dessas tecnologias ao agronegócio nacional é crucial para enfrentar os desafios específicos e maximizar os benefícios do Agro 5.0.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Implementação de Processos

A implementação de processos automatizados em contextos do Agro 5.0 requer a integração de tecnologias avançadas, tais como a Inteligência Artificial (IA), a Internet das Coisas (IoT) e a robótica, com o objetivo de otimizar todas as etapas da produção agrícola. De acordo com Jha et al. (2019), a adoção dessas tecnologias requer uma compreensão ampla dos processos existentes para garantir uma transição tranquila e eficaz. A gestão da mudança, como salienta Taylor (2020), é crucial para minimizar as resistências e aumentar a adoção.

Porter e Heppelmann (2017) argumentam que uma abordagem sistemática para a introdução de novas tecnologias é crucial. Isso significa o desenvolvimento de uma infraestrutura adequada, a formação de técnicos e a gestão de dados agrícolas de forma segura e eficiente. Esses autores também enfatizam a necessidade de políticas robustas para proteger dados sensíveis e proteger a privacidade dos agricultores.

2.2 AGRO 5.0

A Agricultura 5.0 (Agro 5.0) representa uma grande evolução no setor agrícola brasileiro, incorporando tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT) e robótica. Essas tecnologias permitem uma agricultura mais precisa, otimizando a gestão de recursos hídricos e nutrientes, e transformando os dados em insights úteis para tomar decisões mais inteligentes e sustentáveis. De acordo com Fernandes e Oliveira (2022), e corroborado por especialistas como Francisco Jardim, a capacidade de transformar grandes quantidades de dados em estratégias concretas é crucial para aumentar a eficiência e a sustentabilidade das operações agrícolas.

No contexto do Agro 5.0, tecnologias como sensores inteligentes, drones e robôs são fundamentais para monitorar as condições de cultivo em tempo real e executar tarefas agrícolas de forma automatizada. Autores como Barnes e Toma (2021), abordam que, essas inovações não apenas aumentam a produtividade, como também minimizam os impactos ambientais. Kumar e Singh (2023) salientam que a inteligência artificial pode prever tendências de mercado e comportamento de culturas, fornecendo uma base sólida para enfrentar desafios como as mudanças climáticas e a crescente demanda por alimentos. A integração dessas tecnologias está redefinindo o setor agrícola, tornando-o mais capaz de lidar com os desafios atuais e promovendo uma produção mais responsável e eficiente.

3. METODOLOGIA

A metodologia apresenta a estruturação e os procedimentos experimentais utilizados para investigar o uso de tecnologias de informação no Agro 5.0. A pesquisa em base de dados científicos foi utilizada para dar o embasamento desse estudo.

3.1 Classificação da Pesquisa

A escolha pela abordagem qualitativa é fundamentada na necessidade de compreender as complexidades inerentes à implementação de novas tecnologias no campo agrícola, como

salienta Maxwell (2013), que enfatiza a importância de compreender o contexto, os valores e as experiências dos participantes. Denzin e Lincoln (2011) destacam a capacidade da pesquisa qualitativa de produzir conhecimento aprofundado sobre práticas sociais e condições institucionais.

3.2 Revisão Sistemática da Literatura

De acordo com Tranfield et al. (2003), a revisão sistemática permite uma análise criteriosa e repetível da literatura existente, fornecendo um panorama confiável do estado da arte. Este método tem como objetivo identificar, avaliar e sintetizar as evidências existentes, permitindo uma análise objetiva das contribuições e lacunas no campo do Agro 5.0.

3.2.1 TEORIA DO ENFOQUE META-ANALÍTICO CONSOLIDADO (TEMAC)

A Teoria do Enfoque Meta-Analítico Consolidado (TEMAC) desenvolvida por Mariano e Rocha (2017) é uma abordagem inovadora para revisões sistemáticas, com foco na integração eficiente de resultados de diversas pesquisas. O TEMAC é dividido em três etapas principais, preparação da pesquisa; apresentação e interrelação dos dados e detalhamento, modelo integrador e validação por evidências, cada uma dessas etapas é fundamentada em seis atributos fundamentais para a avaliação da qualidade de documentos científicos, como propõem Abramo e D'Angelo (2011): precisão, robustez, validade, funcionalidade, eficiência temporal e custo-efetividade.

Neste trabalho será utilizada duas principais bases de dados, que são a *Web Of Science* (WoS) e *Scopus*. Todas juntas, tem o objetivo de utilizar todas as etapas, bem definidas e apoiadas em teorias bibliométricas, que tornam o TEMAC uma ferramenta poderosa para reunir conhecimentos e identificar as direções mais promissoras para pesquisas futuras em qualquer campo científico, como o Agro 5.0 e a implementação de tecnologias de inteligência artificial.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Preparação da Pesquisa

Para analisar a implantação de Inteligência Artificial no Agro 5.0, foram usadas as bases de dados Scopus e Web of Science. "*Artificial Intelligence in Agriculture*", "*Agricultural Process Optimization*", "*Agrobusiness*", "*Agro 4.0*", "*Agriculture 5.0*", "*Implementation*" e "*Process*". Essas palavras-chave foram selecionadas para abranger tanto a

tecnologia de inteligência artificial quanto o seu contexto de aplicação no agronegócio moderno, combinando esses termos para assegurar uma busca precisa.

A busca inicial foi realizada sem restrições de tempo para obter uma visão abrangente do desenvolvimento e aplicação da inteligência artificial no setor agrícola ao longo dos anos. Os primeiros resultados mostraram os artigos mais recentes e mais citados relacionados à otimização de processos agrícolas e à transição para o Agro 5.0. A seguir, foi aplicado um filtro temporal para os últimos cinco anos (2020 a 2024), para assegurar que a pesquisa se baseie em dados atualizados e representativos das dinâmicas atuais e futuras na agricultura digital.

Por fim, com objetivo de aprofundar a pesquisa e assegurar que ela se concentre nas interfaces tecnológica e agricultura, foram selecionadas áreas de pesquisa mais especializadas nas plataformas Scopus e Web of Science.

As áreas incluídas foram, engenharia elétrica e eletrônica que são fundamentais para a aplicação de tecnologias avançadas na agricultura, como sensores e sistemas automatizados. A engenharia multidisciplinar que proporciona uma visão ampla para resolver problemas complexos no campo. A engenharia agrícola que é crucial para a automação e uso de maquinário, enquanto a engenharia ambiental assegura a sustentabilidade das práticas agrícolas. Por fim, a ciência da computação com foco em inteligência artificial aprofunda o desenvolvimento e aplicação prática da IA na agricultura. Essa abordagem integrada e criteriosa de áreas de pesquisa garante a captura de diversas perspectivas e inovações tecnológicas relevantes para o Agro 5.0.

Ao final do refinamento, encontrou-se 412 na base do *Web of Science* e 203 resultados na *Scopus*. Mas, para descartar artigos publicados, foi realizada uma leitura dos resumos e após as seleções, foram selecionados os 6 artigos mais relevantes, para identificar as principais tendências tecnológicas no Agro 5.0.

4.2 Apresentação e Inter-relação de Dados

As análises dos resultados das buscas nas bases de dados permitem uma análise mais aprofundada das tendências e focos predominantes no campo do Agro 5.0 e tecnologias relacionadas. A presente seção tem como objetivo sistematizar e discutir as áreas de pesquisa mais relevantes, os países líderes em publicações, a evolução das publicações ao longo do tempo, os autores mais influentes e os documentos que receberam o maior número de citações.

Esta abordagem metódica e detalhada da apresentação e inter-relação dos dados coletados nas bases *Scopus* e *Web of Science* proporciona uma compreensão ampla e abrangente das dinâmicas atuais e futuras na interface entre engenharia, ciência da computação e práticas agrícolas, o que contribui significativamente para a discussão sobre a implementação e o impacto da inteligência artificial no agro 5.0.

4.3 Análise da Relação de Dados

Os dados obtidos através das bases de dados da Scopus e WoS revela uma consistência no reconhecimento de determinadas tecnologias de inteligência artificial. São predominantes os estudos sobre algoritmos de aprendizado de máquina, utilizados para prever eventos climáticos e doenças em plantas, visão computacional para monitoramento de culturas e sistemas de decisão automatizados que otimizam o uso de recursos. As tecnologias em questão são mencionadas de forma consistente nas duas bases, evidenciando um consenso em relação às suas aplicações críticas no setor agrícola.

A metodologia comum entre essas bases é o uso de estudos de caso e análises comparativas para avaliar a eficiência das tecnologias de inteligência artificial. As técnicas de modelagem preditiva e simulação são amplamente exploradas, o que demonstra um interesse comum em antecipar os efeitos da inteligência artificial antes da sua adoção em larga escala. A integração da Internet das Coisas (IoT) com a inteligência artificial para criar sistemas agrícolas inteligentes e conectados, demonstra o potencial dessa combinação tanto nas publicações das bases Scopus e WoS quanto nos projetos aplicados da Embrapa, que buscam adaptar essas tecnologias às particularidades da agricultura brasileira.

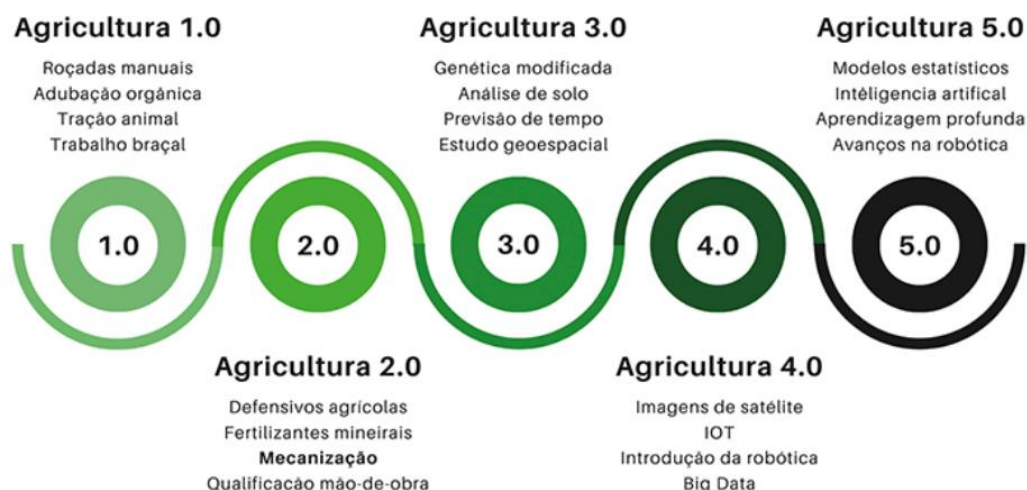
Os desafios identificados incluem a necessidade de infraestrutura adequada para suportar as intensas demandas tecnológicas e as questões de privacidade e segurança dos dados agrícolas. Contudo, as oportunidades, como uma gestão de recursos mais eficaz e a promoção de práticas mais sustentáveis, são amplamente discutidas. Esta convergência de dados sinaliza uma correlação robusta entre avanços tecnológicos e a melhoria dos resultados agrícolas, com todas as bases destacando a IA como um catalisador para transformações no setor.

4.3.1 EVOLUÇÃO DA AGRICULTURA

A modernização da agricultura tem sido consolidada através da introdução de tecnologias avançadas, com destaque para a digitalização e automação dos processos agrícolas. De acordo com a Revista Cultivar, a introdução de sistemas inteligentes e autônomos no campo está aumentando a eficiência desde o plantio até a colheita, permitindo

uma gestão mais eficiente dos recursos e uma redução significativa dos custos operacionais. Esta alteração não apenas aumenta a produtividade e a sustentabilidade das práticas agrícolas, como também responde aos crescentes desafios impostos pelas mudanças climáticas e pelo aumento da demanda global por alimentos (Revista Cultivar, 2021). A figura 1 mostra a evolução do Agricultura ao longo dos anos.

Figura 1: Evolução da Agricultura.



Fonte: Revista Cultivar, 2020.

A transição para o Agro 5.0 também evidencia o crescente compromisso com a sustentabilidade, em que as práticas agrícolas são ajustadas em tempo real para minimizar os impactos ambientais, como o uso de recursos naturais e a emissão de dióxido de carbono. A evolução do Agro 1.0 para o Agro 5.0 revela a transformação dos métodos agrícolas tradicionais em sistemas altamente integrados e baseados em tecnologia, sendo a inteligência artificial uma força transformadora essencial que impulsiona a eficiência, a sustentabilidade e a produtividade no setor agrícola global.

4.3.2 ANÁLISES

Marco Brini (2023), em seu estudo sobre a implantação da agricultura digital, afirma que a integração de IoT com IA está criando sistemas agrícolas inteligentes que não apenas aumentam a produtividade, mas também garantem práticas agrícolas mais sustentáveis. Essa sinergia entre IoT e IA é crucial para desenvolver soluções que respondam às especificidades da agricultura em diferentes regiões, especialmente em países com grande variedade agrícola, como o Brasil.

Em suma, o cenário atual da inteligência artificial na agricultura é caracterizado pelo consenso sobre o potencial das tecnologias emergentes para revolucionar o setor. A

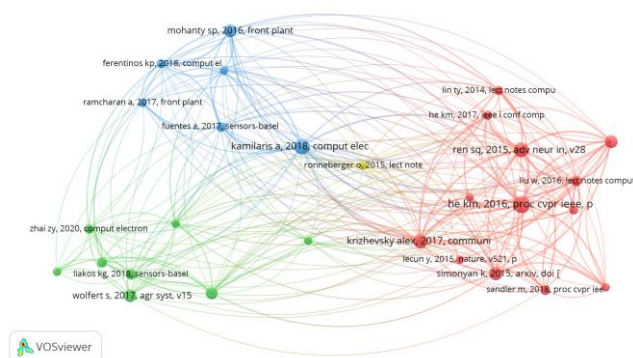
colaboração entre diferentes entidades e a adaptação das tecnologias às necessidades locais são essenciais para maximizar os benefícios da IA na agricultura, como demonstram os estudos das bases de dados analisadas e as iniciativas da Embrapa. A partir de alguns artigos extraídos dessas bases de dados, foi possível selecionar algumas IA's mais presentes no Agro.

4.4 Detalhamento, Modelo Integrador e Validação por evidências

A co-citação e o acoplamento bibliográfico desempenham um papel fundamental na representação da estrutura do conhecimento em uma área específica, bem como no estabelecimento de conexões entre diferentes estudos e autores (Small, 1973; Kessler, 1963). Essas técnicas possibilitam uma análise aprofundada das dinâmicas e tendências da pesquisa, revelando a interligação entre os trabalhos e as influências teóricas predominantes.

4.4.1 CO-CITAÇÃO

Figura 2: Mapa de co-citações - WoS.



Fonte: Autoral, adaptado VOSviewer, 2024.

A análise de co-citação, que analisa a forma como os documentos são frequentemente citados em conjunto, revelou quatro grupos principais, cada um representando uma área específica de pesquisa e autores influentes.

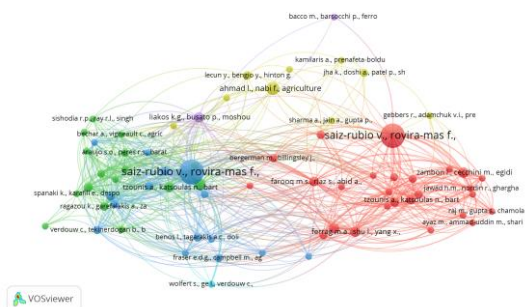
O Cluster 1, em vermelho, apresenta uma relação de temas ligados as redes neurais e *deep learning* para a agricultura de precisão. Este grupo é composto por estudos que utilizam técnicas avançadas de aprendizado de máquina para detectar doenças em plantas e otimizar a produção agrícola. Os autores Ren (2015) e He (2016) são fundamentais neste grupo. Liu (2016) ressalta a relevância da análise de grandes volumes de dados agrícolas através de redes neurais profundas para prever padrões climáticos e auxiliar na tomada de decisões agronômicas.

O Cluster 2, em azul, são de temas relacionados as tecnologias de inteligência e sensores inteligentes. Inclui pesquisas focadas na aplicação da Internet das Coisas (IoT) no monitoramento e gestão de cultivos agrícolas em tempo real. Nomes como Kamilis (2018) e Ferentinos (2018) são destacados neste grupo.

O Cluster 3, em verde, é voltado para a sustentabilidade e práticas agrícolas eficazes. Este grupo discute a implementação de práticas sustentáveis no agronegócio, utilizando tecnologias de inteligência artificial para otimizar o uso de recursos naturais, como água e nutrientes. Os autores Wolfert (2017) e Zhai (2020) são destacados.

O Cluster 4, em amarelo, pode ser relacionado a temas de análise de dados e previsões climáticas. Este grupo de estudos utiliza modelos preditivos e análises de big data para prever condições climáticas desfavoráveis e otimizar as práticas agrícolas. Os autores Krizhevsky (2017) e Lecun (2015) são importantes. Zhao (2022b) ressalta a relevância de analisar grandes quantidades de dados para elaborar modelos preditivos que auxiliem na tomada de decisões estratégicas no campo.

Figura 3: Mapa de co-citações - Scopus.



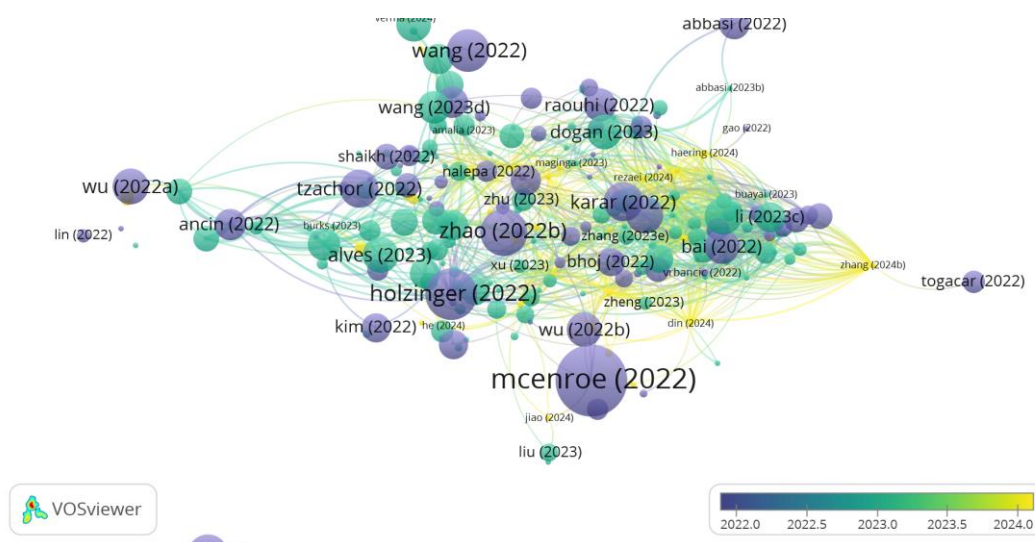
Fonte: Autoral, adaptado VOSviewer, 2024.

A análise da cocitação da base Scopus mostra os documentos que são frequentemente mencionados em conjunto, indicando a inter-relação ou complementaridade entre seus temas. O mapa de cocitações identificou seis clusters principais, sendo o vermelho, que refere-se às Tecnologias de Inteligência e à Agricultura de Precisão, com autores como Saiz-Rubio e Rovira-Mas. O azul que enfatiza a Internet das Coisas e Sistemas de Monitoramento Inteligente, como Verdouw e Tekinerdogan. O verde que aborda Sustentabilidade e Práticas Agrícolas Eficientes, com as contribuições de Liakos e Busato. O amarelo que é dedicado às Ferramentas de Análise de Dados e Big Data, com os autores Ahmad e Nabi. O roxo que aborda a Automação e Robótica na agricultura, com Bacco e Barsocchi como autores-chave. E o vermelho que se concentra na Visão Computacional e Sensoriamento Remoto, com Lecun

e Bengio como principais contribuintes. Esses grupos representam áreas específicas de estudo na área agrícola, destacando autores influentes e suas contribuições para a aplicação de tecnologias avançadas na agricultura.

4.4.2 ACOPLAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Figura 4: Mapa de coupling - WoS.



Fonte: Autoral, adaptado VOSviewer, 2024.

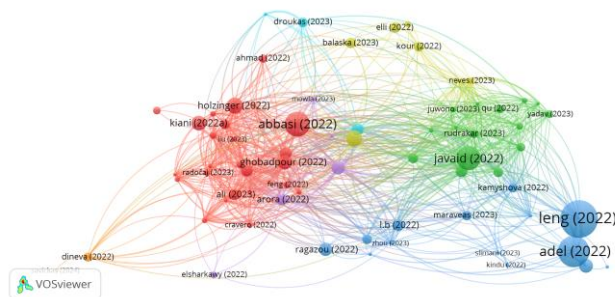
A análise de acoplamento bibliográfico foi realizada para identificar a ligação entre documentos com base nas referências bibliográficas que compartilham. Essa técnica é útil para identificar a base teórica comum entre os estudos recentes e compreender como as pesquisas estão interligadas. O mapa de acoplamento bibliográfico revelou uma variedade de clusters distintos, cada um representando uma área específica de pesquisa.

O primeiro Cluster, em roxo, é composto por documentos de autores como Wu (2022a) e McEnroe (2022), que se concentram na *machine learning* e sua aplicação na agricultura de precisão.

O segundo Cluster de estudos, em verde, abrange estudos sobre análise de dados e previsões climáticas, com autores como Zhao (2022b) e Bai (2022b) sendo o principal autor.

O terceiro Cluster, em amarelo, trata da integração de tecnologias de IoT e IA, com nomes como Karar (2022) e Tzachor (2022) sendo referências. Este grupo compartilha referências que discutem como a inteligência artificial pode ser combinada com algoritmos de inteligência artificial para criar sistemas agrícolas inteligentes e conectados.

Figura 5: Mapa de coupling - Scopus.



Fonte: Autoral, adaptado VOSviewer, 2024.

O mapa de acoplamento bibliográfico da Scopus revelou sete clusters principais, cada um representando uma área de pesquisa com autores relevantes. O Cluster 1, identificado pela cor vermelha, se concentra nas tecnologias de inteligência e agricultura de precisão, incluindo autores como Abbasi (2022), Ghobadpour (2022), Kiani (2022a) e Holzinger (2022). O Cluster 2, caracterizado pela cor azul, enfatiza a IoT e sistemas de monitoramento inteligente, com Leng (2022), Adel (2022) e Ragazou (2022) sendo os principais autores.

O terceiro Cluster, caracterizado pela cor verde, trata da sustentabilidade e de práticas agrícolas eficientes, com Javaid (2022), Yadav (2023) e Neves (2023). O Cluster 4, representado em amarelo, é dedicado às ferramentas de análise de dados e big data, tendo como autores Elli (2022), Balaska (2023) e Kour (2022). O Cluster 5, roxo, trata da aplicação de automação e robótica na agricultura, sendo Maraveas (2023) e Kamyshova (2022).

O Cluster 6, identificado pela cor ciano, apresenta pesquisas sobre Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Sensoriamento Remoto, com Droukas (2023) e Ragazou (2022). O Cluster 7, laranja, se concentra na aplicação de blockchain para rastrear produtos agrícolas, incluindo Dineva (2022) e Savickas (2024). Esta análise de acoplamento bibliográfico revela uma divisão clara de temas e áreas de pesquisa, com cada cluster representando estudos interligados sobre a aplicação de tecnologias avançadas no agronegócio, desde precisão agrícola até sustentabilidade e análise de dados.

4.5.4 MODELO INTEGRADOR

Para elaborar um modelo integrador e confirmar por evidências a aplicação da IA no Agro 5.0, foram considerados diversos aspectos críticos. O modelo identifica tecnologias emergentes, como *machine learning*, inteligência artificial e redes neurais, e suas aplicações práticas no setor agrícola. A inter-relação de grandes quantidades de dados é crucial para alimentar modelos preditivos que auxiliem na tomada de decisões agronômicas. Além disso, a

sustentabilidade é uma preocupação, com práticas que otimizam o uso de recursos naturais, monitoramento em tempo real e análise preditiva.

Este modelo integrador, fundamentado em uma análise aprofundada das evidências disponíveis, oferece uma visão abrangente de como a inteligência artificial pode transformar o setor agrícola. O modelo promove progressos significativos em eficiência e sustentabilidade, enfatizando a relevância da tecnologia para lidar com os desafios do agronegócio moderno, assegurando práticas mais responsáveis e produtivas. A seguir, estão listados as principais tecnologias de inteligência artificial e os benefícios da integração dessas tecnologias.

Quadro 1: Principais IA implementadas.

TIPO DE TECNOLOGIA	APLICAÇÃO	BENEFÍCIOS	REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO
Redes Neurais e Deep Learning	Deteção de doenças em plantas e otimização da produção agrícola.	Aumento da precisão e eficiência na agricultura.	Infraestrutura de TI robusta e treinamento especializado.
IoT e Sensores Inteligentes	Monitoramento e gestão de cultivos em tempo real.	Contribui para a gestão otimizada de culturas, deteção de doenças e previsão de rendimento.	Sensores IoT e conectividade confiável.
PRÁTICAS AGRÍCOLAS SUSTENTÁVEIS	Uso eficiente de recursos como água e nutrientes.	Sustentabilidade a longo prazo e conservação de recursos naturais.	Tecnologias de IA, práticas de conservação.
ANÁLISE DE DADOS E PREDIÇÕES CLIMÁTICAS	Previsão de condições climáticas adversas.	Otimização de práticas agrícolas com base em previsões precisas.	Dados climáticos históricos e modelos preditivos.
SISTEMAS DE GESTÃO DE FAZENDAS (ERP - ENTERPRISE RESOURCE PLANNING)	Planejamento detalhado das atividades agrícolas, centralização da gestão financeira, monitoramento e gerenciamento dos níveis de estoque de insumos agrícolas, relatórios detalhados e análises avançadas.	Aumento da eficiência operacional, decisões informadas e gerenciamento eficiente.	Software ERP e integração com outras tecnologias.
MAPAS DE RENDIMENTO	Visualização de variações de rendimento nas colheitas.	Identificação de áreas de baixa produtividade e otimização de práticas.	Sensores de rendimento e software de mapeamento.
SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO (DSS)	Análise de dados para gerar insights acionáveis.	Aumento da produtividade, redução de custos, sustentabilidade ambiental e qualidade e segurança alimentar	Infraestrutura de conectividade robusta, capacitação técnica e infraestrutura de dados.

TIPO DE TECNOLOGIA	APLICAÇÃO	BENEFÍCIOS	REQUISITOS PARA IMPLEMENTAÇÃO
APLICAÇÕES DE TAXA VARIÁVEL (VRT)	Aplicação otimizada de sementes, fertilizantes, pesticidas e irrigação.	Redução de desperdícios e aumento da produtividade.	Equipamentos de aplicação variável e sistemas de controle.
DRONES E SENSORES DE IMAGEM	Monitoramento aéreo e análise de saúde das plantas.	Deteção precoce de problemas e monitoramento eficiente.	Drones, sensores de alta resolução e software de análise.
ROBÓTICA E AUTOMAÇÃO	Automatização de tarefas agrícolas como plantio e colheita.	Redução de mão-de-obra e aumento da eficiência operacional.	Robôs especializados e infraestrutura adequada.
BLOCKCHAIN	Rastreabilidade de produtos agrícolas e segurança alimentar.	Transparência e confiança na cadeia de suprimentos.	Plataformas de blockchain e integração com sistemas existentes.
VISÃO COMPUTACIONAL	Identificação de pragas e doenças através de análise de imagens.	Deteção rápida e precisa de problemas, aumentando a segurança.	Câmeras de alta resolução e algoritmos de visão computacional.
MODELAGEM E SIMULAÇÃO	Simulação de cenários agrícolas para planejamento estratégico.	Planejamento eficiente e redução de riscos.	Modelos de simulação, dados históricos e de previsão.
BIG DATA	Análise de grandes volumes de dados para tomar decisões informadas.	Os diagnósticos contribuem para a agricultura de precisão, alocação eficiente de recursos e gestão aprimorada de riscos.	Plataformas de big data, capacidades de análise avançada.
AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO	Controle automatizado de sistemas de irrigação.	Uso eficiente da água e aumento da produtividade.	Sistemas de controle automatizado, sensores de umidade.
TECNOLOGIA DE BIOMETRIA	Identificação de estresse e bem-estar animal.	Monitoramento da saúde animal e aumento do bem-estar.	Sensores biométricos, software de análise de dados.
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	Mapeamento e análise de dados geoespaciais.	Aumento da produtividade, redução de custos, sustentabilidade ambiental, mitigação de riscos e tomada de decisões informada	Infraestrutura tecnológica, capacitação técnica, conectividade e acesso a dados geoespaciais.
AGRICULTURA DE PRECISÃO	Uso de GPS, sensoriamento remoto e análise de dados para criar mapas precisos das características e variabilidades das culturas.	Alocação otimizada de recursos e aumento da produtividade.	Infraestrutura tecnológica, investimento em equipamentos, capacitação e treinamento e parcerias e colaborações.
BIOTECNOLOGIA	Desenvolver plantas e microrganismos com características desejáveis que melhoram a eficiência e sustentabilidade da produção agrícola.	Aumentar a produtividade e a sustentabilidade na agricultura.	Investimento em pesquisa e desenvolvimento, regulamentação e aprovação, infraestrutura de laboratório e capacitação técnica.

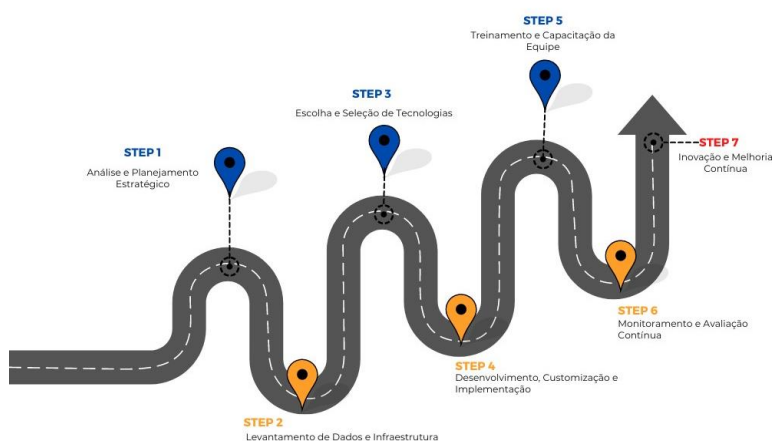
Fonte: Autoral, 2024.

O Quadro 01 foi desenvolvido com intuito de mostrar algumas das principais tecnologias que vão fazer parte do aglomerado tecnológico que é o Agro 5.0. Sendo assim, pode-se pontuar algumas das tecnologias citadas acima, como exemplo, o *deep learning* e as redes neurais, que são tecnologias avançadas de inteligência artificial, onde imitam como o cérebro humano funciona ao analisar e interpretar grandes quantidades de informações. A agricultura usa essas tecnologias para identificar doenças nas plantas e maximizar a produção. A agricultura fica mais eficiente e precisa com isso, pois permite respostas rápidas e eficazes. A aplicação dessas tecnologias requer uma infraestrutura de TI sólida e treinamento especializado para interpretar os resultados e tomar decisões informadas

Posteriormente, após uma análise abrangente da literatura e a definição das principais tecnologias, pode-se pontuar um modelo que propõe duas abordagens cuidadosamente concebidas e adaptadas às necessidades específicas de operações agrícolas. Os autores Brini (2023) e Neto (2023) desenvolveram métodos detalhados para orientar essa implementação, onde cada um tinha suas próprias características e vantagens.

A partir do estudo das metodologias desenvolvidas, é possível realizar uma combinação de ambas e englobar em uma como mostra a Figura 6, que pode ser denominada como AGLITECH, que integra todas as fases para construção do roadmap onde cada autor apresentou características e vantagens de seus métodos.

Figura 6: Roadmap da Metodologia AGLITECH.



Fonte: Autoral, 2024

O nome AGLITECH é um acrônimo desenvolvido para denominar a junção das duas metodologias e significa integração da agricultura (AG) e tecnologia (TECH) e simboliza a modernização e inovação constante deste setor.

Cada letra da sigla AGLITECH é uma etapa importante neste processo: A – Análise E Planejamento Estratégico; G – Gestão de Dados e Infraestrutura; L - Levantamento e Seleção de Tecnologias; I – Implementação e Customização; T - Treinamento e Capacitação da Equipe; E - Testes e avaliações contínuas; CH – Inovação e Melhoria Contínua.

A ideia é combinar a análise das necessidades de Brini (2023) com o planejamento estratégico de Neto (2023) para criar uma visão clara e objetivos alinhados com a estratégia local de implementação. Em seguida, é adotada a metodologia de levantamento de dados e avaliação de infraestrutura de Neto para estabelecer uma base sólida para a implementação de IA integrando a seleção de soluções tecnológicas de Brini (2023) com as tecnologias e ferramentas de IA apontadas por Neto. O desenvolvimento iterativo de modelos de inteligência artificial de Brini (2023), combinado com a personalização de modelos de Neto (2023), assegura testes em condições reais e ajustes contínuos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise inicial por meio de pesquisa a base dados é fundamental para entender o que já existe na literatura e quais são as tendências para a área da IA no Agro 5.0. A integração dessas novas tecnologias no agronegócio vem crescendo exponencialmente e apresentando resultados significativo, como mostrado em alguns estudos de casos oriundos das pesquisas bibliográficas.

O agronegócio faz parte de uma das maiores porcentagens da economia no Brasil e vem ganhando força a cada dia. Mas, para que se tenha processos e resultados eficazes é necessário essa adaptação e aderência as novas tecnologias, em específico, a inteligência artificial que foi alvo deste estudo. Porém, para se implementar é necessário entender quais são as aplicações, benefícios e formas de implementação. Sendo assim, foi essencial compreender o que já existe na literatura atual e o que pode ser feito para implementar de forma mais otimizada.

Ademais, na segunda parte desse trabalho, será aplicado estudos de casos e também aplicado o método na prática para entender quais resultados e benefícios podem ser encontrados, além da verificação da eficácia do método.

6. REFERÊNCIAS

- ABRAMO, G.; D'ANGELO, C. A. **Evaluating research: From informed peer review to bibliometrics.** *Scientometrics*, v. 87, n. 3, p. 499-514, 2011.
- ADLI, M. et al. **Integrated design framework for smart agriculture: Bridging the gap between technology and implementation.** *Journal of Agricultural Technology*, v. 10, n. 2, p. 150-165, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352853221000272>. Acesso em: 22 maio 2024.
- BRINI, Marco. **Implementing Digital Agriculture Step-by-step.** [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369747012_Implementing_Digital_Agriculture_Step-by-step. Acesso em: 01 abril, 2024.
- DENZIN, N. K.; LINCOLN, Y. S. *The SAGE Handbook of Qualitative Research*. Sage, 2011
- JHA, K.; DOSHI, A.; PATEL, P.; SHAH, M. **A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence.** *Artificial Intelligence in Agriculture*, v. 2, p. 1-12, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.05.004>. Acesso em: 01 abril, 2024.
- KUBOTA, M.; ROSA, A. S. **Security Assessment of Agriculture IoT (AIoT) Applications.** *Applied Sciences*, v. 13, n. 5, p. 5841, 2024. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/7/3752>. Acesso em: 22 maio 2024.
- MANFREDO NETO, Leonardo. **Perspectiva, implementação, gestão e tecnologias da agricultura digital: um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro.** 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.
- MARIANO, Ari & SANTOS, Maíra. (2017). **Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora.**
- MAXWELL, J. A. **Qualitative Research Design: An Interactive Approach.** Sage, 2013.
- Mundo Agro Brasil. **Agricultura é o setor que mais usa IA.** 2023. Disponível em: <https://mundoagrobrasil.com.br/agricultura-e-o-setor-que-mais-usa-ia/>. Acesso em: 01 abril, 2024.
- OLIVEIRA, Rosana Cavalcante de; SILVA, Rogério Diogne de Souza e. **Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends.** *Applied Sciences*, [s.l.], v. 13, n. 13, p. 7405, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app13137405>.